



МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

БГТУ.СМК-Ф-4.2-К5-01

Факультет

Е

Оружие и системы вооружения

шифр

наименование

Кафедра

Е4

Высокоэнергетические устройства автоматических систем

шифр

наименование

РЕФЕРАТ

Обзор методов и результатов исследования напряженно-деформированного
состояния заготовки при образовании полостей выдавливанием

Выполнила:
студентка гр. Е1М31

Кулешова А.В.

Проверил:
Нестеров Н.И.

г. Санкт-Петербург,

2017 г.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----------|
| ВВЕДЕНИЕ | 3 |
| 1 Процесс выдавливания полостей | 4 |
| 2 Метод делительных сеток | 5 |
| 2.1 Способы нанесения сетки | 6 |
| 2.2 Способы обработки искаженной сетки | 7 |
| 2.2.1 Методы конечного деформирования | 7 |
| 2.2.2 Поэтапные методы исследования | 11 |
| 2.2.3 Метод пластического течения | 11 |
| 3 Метод моделирования на многослойном материале | 13 |
| 4 Результаты исследования НДС заготовки при образовании полостей выдавливанием из многослойного материала методом делительной сетки | 15 22 |
| 5 Исследования характера распределения параметров напряженно- деформированного состояния заготовки в процессе выдавливания в программе DEFORM – 3D | 21 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 31 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 32 |

ВВЕДЕНИЕ

Теория обработки металлов давлением позволяет оценить экономическую целесообразность принятого способа деформации, выявить влияние условий обработки на свойства получаемых изделий, определить силовые и энергетические параметры процесса и указать пути их рационального изменения, дает возможность управлять процессом обработки с точки зрения улучшения способности металлов пластически деформироваться. Знание закономерностей обработки металлов давлением помогает выбирать наиболее оптимальные режимы технологических процессов, требуемое основное и вспомогательное оборудование и технически грамотно его эксплуатировать. Перспективным способом получения полостей является процесс обработки металла давлением – выдавливание (экструзия) металла.

Актуальность исследования процесса выдавливания заключается в том, что производство выдавливание профилей сложной формы и сечений часто оказывается более экономичным процессом, чем штамповка их с последующей механической обработкой. Это объясняется тем, что выдавливанием можно получить изделия требуемых размеров с малыми допусками и тем самым сократить до минимума последующую холодную обработку заготовки.

1 Процесс выдавливания полостей

В настоящее время существуют технологии, обеспечивающие получения полостей любой сложности, основным способом является обработка резаньем. Основным недостатком резанья является низкий КИМ, а также в некоторых случаях повышенная трудоемкость. Перспективным способом получения полостей является процесс обработки металла давлением – выдавливание (экструзия) металла.

Выдавливание – это операция обработки металла давлением, заключающаяся вытеснением материала заготовки в полость ручья штампа. Суть способа заключается в том, что полость штампа или пресс – формы формируется внедрением пуансона. Этот способ обеспечивает точность размеров по 8 – 11 квалитетам. Шероховатость выдавливаемой поверхности составляет 0,008 – 0,016 мкм.

Полость – замкнутое пространство, в котором формируется деталь.

Выдавливанием получают гильзы, стаканы и другие детали из сталей и цветных металлов и сплавов.

Образование полостей методом выдавливания имеет следующие преимущества:

1. Высокая производительность по отношению других технологий образования полостей в заготовке;
2. Отходы материала уменьшаются, увеличивается КИМ в отличие от других технологий образования полостей в заготовке;
3. При выдавливании не происходит перерезания волокон материала;
4. Стойкость инструмента изготавливаемого методом выдавливанием в 2 – 6 раз больше, чем у инструмента изготовленного резаньем;
5. Выдавливание позволяет формировать полости сложной формы (полости с винтовой плоскостью).

Недостаток метода выдавливания:

1. Большие удельные силы, действующие на инструмент, которые снижают стойкость инструмента.

Процесс выдавливания относится к первой группе классификации Корнеева. В очаге пластической деформации преобладают сжимающие напряжения во всех направлениях, и поэтому у процесса выдавливания наибольшая предельная деформация из всех процессов.

2 Метод делительных сеток

Метод делительных сеток (МДС) является старейшим и наиболее часто применяемым экспериментальным методом исследования больших упругих и пластических деформаций. Метод основан на нанесение сетки, представляющую систему меток на поверхности или плоскости составного образца. При исследовании пластических деформаций обычно используют логарифмическую меру, то есть деформацию отрезка, имеющего первоначальную длину l_0 , а длину после деформации l , можно представить в виде:

$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}.$$

Перед нанесением сетки исследуемая поверхность тщательно очищается и обезжиривается. При работе на низкомолекулярных материалах типа резины, полиуретана, эпоксидной смолы для улучшения адгезии можно нанести подслои. Выбираемые для обезжиривания реактивы не должны быть коррозионно – активными для исследуемой поверхности.

2.1 Способы нанесения сетки

Нанесение координатных сеток выполняют фотоспособом, напылением, царапанием, типографским способом.

1. Фотоспособ позволяет получить сетку с малым шагом сетки. На полированную и обработанную поверхность прикладывается негатив сетки и проводят фотообработку сетки.
2. Напылением можно получить сетку шагом меньше 0,1 мм. Сетка сохраняется при высоком давлении и температуре, вплоть до полного расплавления образца.
3. Царапанье является простым механическим способом нанесения сетки. Недостатком данного метода является нарушение поверхности исследуемого образца.

4. Типографский способ позволяет получить сетку с точностью до 0,25мм. Для повышения стойкости сетки, поверхность заготовки покрывают лаком.

2.2 Способы обработки искаженной сетки.

Экспериментальные методы исследования процессов пластического формоизменения, основанные на изучении искаженной деформацией сетки, можно разделить на несколько групп, к главнейшим из которых относятся методы, базирующиеся на основных положениях теории конечных деформаций, поэтапные методы исследования, также опирающиеся на постулаты деформационной теории, и методы, основанные на применении теории пластического течения.

2.2.1 Метод конечного деформирования

В основе методов конечных деформаций лежит теорема о преобразовании элементарной сферы (объемная деформация) или окружности (плоская деформация) в результате конечного формоизменения в эллипсоид или эллипс, главные оси которого совпадают с направлением главных осей деформаций. Главные компоненты деформации определяются в этом случае как натуральные логарифмы отношений главных диаметров эллипсоида (эллипса) к диаметру исходной сферы (окружности). На основании деформационной теории Генки принимается также, что главные оси напряжений изотропного тела совпадают с направлением главных осей эллипсоида (эллипса). Следовательно, методы конечных деформаций применимы только к тем процессам или их стадиям, которые удовлетворяют условиям монотонности, т.е. когда главные оси скорости деформации совпадают с одними и теми же материальными волокнами деформируемого тела, а вид деформированного состояния остается неизменным [1]. Широко известны методики этой группы, предложенные Э. Зибелем [2] и П. Пашковым [3].

В методе Зибеля исходная квадратная ячейка превращается в параллелограмм, а вписанная в квадрат окружность деформируется в эллипс (рисунок 2.1).

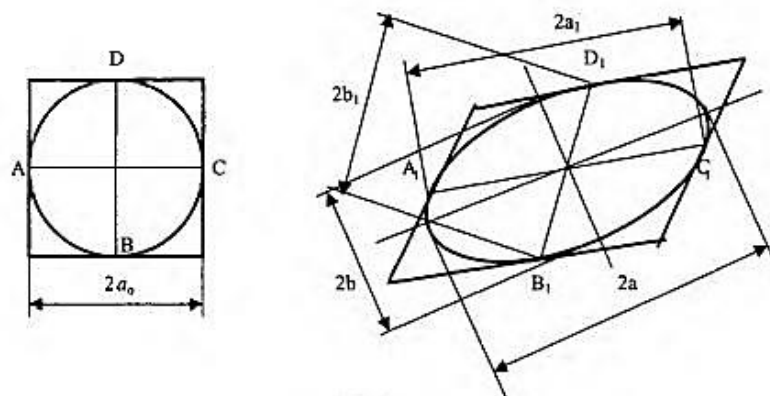


Рисунок 2.1 – Схема метода Зибеля

Фиксируются сопряженные диаметры $2a_1$ и $2b_1$ соединяющие точки касания эллипса со сторонами параллелограмма и угол α между ними. Главные оси определяются по формулам (2-3):

$$2a = 2 \times \sqrt{0,5 \times (a_1^2 + b_1^2) + 0,5 \times \sqrt{(a_1^2 + b_1^2)^2 - 4 \times a_1^2 \times b_1^2 \times \sin \delta}},$$

$$2b = 2 \times \sqrt{0,5 \times (a_1^2 + b_1^2) - 0,5 \times \sqrt{(a_1^2 + b_1^2)^2 - 4 \times a_1^2 \times b_1^2 \times \sin \delta}}.$$

где $2a_0$ и $2b_0$ – размеры ячеек сетки до деформации; $2a_1$ и $2b_1$ – размеры ячеек сетки после деформации.

Главные компоненты пластической деформации находят по уравнениям (4-6):

$$\varepsilon_Z = \ln \frac{a}{a_0};$$

$$\varepsilon_R = \ln \frac{b}{b_0};$$

где a_0 и b_0 – размеры сторон ячеек до деформации.

$$\varepsilon_\theta = -(\varepsilon_Z + \varepsilon_R).$$

Интенсивность деформации рассчитана по формуле (7) при условии что

$$\varepsilon_1 \geq \varepsilon_2 \geq \varepsilon_3:$$

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \times \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}.$$

Главные компоненты напряжений находят по формулам:

$$\sigma_n - \sigma_{cp} = \frac{2}{3} \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i} \varepsilon_n$$

$$\sigma_\rho - \sigma_{cp} = \frac{2}{3} \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i} \varepsilon_\rho$$

$$\sigma_\theta - \sigma_{cp} = \frac{2}{3} \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i} \varepsilon_\theta.$$

Для проведения эксперимента и обработки результатов удобно пользоваться координатами точек касания А,В,С,Д, а полученные характеристики формоизменения считать локальными для центра ячейки (рисунок 1).

В методе Пашкова исходная ячейка также имеет форму квадрата со стороной $2a_0$, а параметрами, характеризующими искажение ячейки, будут размеры сторон параллелограмма $2a_1$ и $2b_1$ и угол δ между ними, а поворот относительно фиксированных на плоскости осей координат характеризуется двумя углами. Главные компоненты деформации ε_1 и ε_2 , а также интенсивность деформации.

Расчетные формулы Зибеля и Пашкова таковы, что исходная ячейка делительной сетки должна первоначально обязательно иметь квадратную форму. Погрешность в нанесении ортогональной сетки может привести к ошибке в определении как значений главных деформаций, так и направлений главных осей. И.П. Ренне показал, что можно получить формулы и для более общего случая, когда исходная ячейка имеет форму параллелограмма, то есть ее параметрами являются размеры a_0 и b_0 и угол δ_0 , а положение ячейки относительно фиксированной системы координат ХОУ определяется углами α_0 и β_0 (рисунок 2).

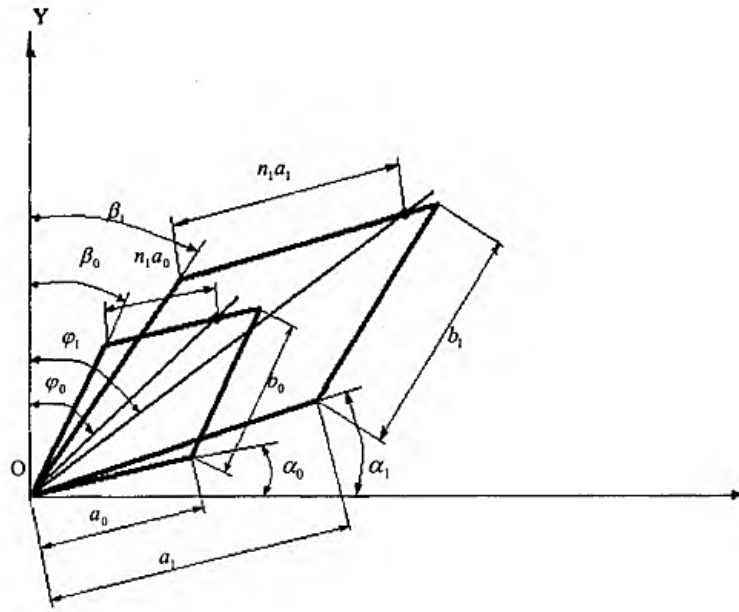


Рисунок 2.2 – Схема метода Пашкова

В этом случае главные компоненты деформации определяются следующим образом:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{2} \ln \frac{b^2 + n_1^2 a_1^2 + 2n_1^2 a_1 b_1 \cos \delta_1}{b_0^2 + n_1^2 a_0^2 + 2n_1^2 a_0 b_0 \cos \delta_0}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{2} \ln \frac{b^2 + n_2^2 a_1^2 + 2n_2^2 a_1 b_1 \cos \delta_1}{b_0^2 + n_2^2 a_0^2 + 2n_2^2 a_0 b_0 \cos \delta_0}$$

$$\varepsilon_3 = -(\varepsilon_1 + \varepsilon_2),$$

$$n_{1,2} = \frac{B \pm \sqrt{B^2 + 4A \cdot C}}{2A}.$$

$$A = a_1^2 a_0 b_0 \cos \delta_0 - a_0^2 a_1 b_1 \cos \delta_1,$$

$$B = a_0^2 b_1^2 - a_1^2 b_0^2,$$

$$C = b_1^2 a_0 b_0 \cos \delta_0 - b_0^2 a_1 b_1 \cos \delta_1,$$

$$\tan \varphi_0 = \frac{b_0 \sin \beta_0 + n_{1,2} a_0 \cos \alpha_0}{b_0 \cos \beta_0 + n_{1,2} a_0 \sin \alpha_0}$$

$$\tan \varphi_1 = \frac{b_1 \sin \beta_1 + n_{1,2} a_1 \cos \alpha_1}{b_1 \cos \beta_1 + n_{1,2} a_1 \sin \alpha_1}.$$

Такое обобщение формул преобразования исходной ячейки в виде параллелограмма оказывается полезным при поэтапном исследовании процессов конечного формоизменения. Результирующее значение

интенсивности главных логарифмических деформаций e , получается суммированием этапных значений ε_{in} :

$$\varepsilon_i = \sum_1^n \varepsilon_{in}$$

2.2.2 Поэтапные методы исследования

Поэтапные методы исследования конечных пластических деформаций могут быть использованы и для немонотонных процессов; необходимо только, чтобы каждый этап, на который разбивается немонотонный процесс конечного формоизменения, удовлетворял, хотя бы приближенно, условиям монотонности. При этом направление главных осей деформации на каждом этапе должно совпадать с направлением главных осей напряжений. Основной задачей поэтапного исследования является получение локальной характеристики степени деформации в результате немонотонного формоизменения в условиях сложного нагружения.

2.2.3 Метод пластического течения

Еще одна группа экспериментальных исследований с помощью метода сеток базируется на теории пластического течения. Здесь непрерывно наблюдаемые изменения формы и размеров ячейки делительной сетки рассматриваются как непрерывные функции некоторого параметра, чаще всего времени. Текущие значения компонентов деформации определяются на любой стадии процесса в произвольной системе координат и используются как для нахождения текущего положения главных осей скоростей деформации, так и для определения интенсивности скорости деформирования e_i . Величина степени деформации находится из уравнения:

$$e_i = \sum_1^n \varepsilon_i dt$$

и, согласно теории пластического течения, главные оси скорости деформации совпадают с главными осями напряжений.

Возможности и недостатки метода делительной сетки:

1. Метод позволяет определить все параметры НДС, как при монотонном, так и не при монотонном нагружении, в случае деформации без нагрева и с нагревом и с нагревом заготовки;
2. При существующих технических средствах не может быть использован для исследования на малой базе;
3. Метод при весьма большой деформации не пригоден, поскольку возникает погрешность.

3 Метод моделирования на многослойном материале

Основные положения метода:

1. Заготовка может быть изготовлена из одного либо из разных материалов;
2. Модель должна отвечать характеру деформирования, поэтому используют границы плоских слоёв;
3. Материал должен быть прочно соединен, чтобы во время деформации связь между слоями не была разорвана;
4. Должны быть различные границы слоёв.

Основные этапы метода:

1. Изготовление объекта исследования;
2. Измерение толщины слоёв;
3. Деформирование модели;
4. Измерение толщины слоев после деформации;
5. Обработка результатов.

Деформирование происходит до конечной стадии, минуя промежуточные. На исходной модели материал должен быть расположен так, чтобы поверхности границ были расположены определенным образом к линиям контура заготовки. Границы слоёв представляют из семейств линий делительной сетки. Второе семейство строят исходя из картины не деформированных слоёв и условия постоянства объёма.

Метод можно использовать для плоских и осесимметричных заготовок.

Рассчитывают и строят систему линий перпендикулярным первым и получают на плоскости реза сетку. После этого определяют координаты узловых точек сетки и определяют параметры НДС.

Заготовка из многослойного материала представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Заготовка из многослойного материала

Возможности метода:

1. Метод позволяет вычислить все параметры НДС;
2. Возможно применение метода, как при холодной, так и при горячей штамповки;
3. Применим для монотонной деформации;
4. Нельзя исследовать деформацию в микрообъёме;
5. Нельзя использовать при весьма малой и очень большой деформации.

4 Результаты исследования НДС заготовки при образовании полостей выдавливанием из многослойного материала методом делительной сетки

Исследованы характерные фотоснимки меридионального сечения заготовок в различных стадиях их деформирования. Наблюдениями за искаженными ячейками сетки, а также толщиной слоёв многослойного материала в последовательных стадиях внедрения цилиндрического пуансона с различной формой торца установлено, что общий характер деформация во всех исследованных случаях одинакова. В начальный момент внедрения пластическая деформация заготовки происходит в приконтактной зоне, при этом металл течет в направлении, противоположном движению пуансона, образуя наплыв на торцевой поверхности заготовки. При внедрении пуансона в каждый текущий момент на весь объем заготовки участвует в пластической деформации. При внедрении цилиндрического пуансона с плоским торцом (рисунок 4.1, 4.2) материал заготовки деформируется неравномерно.

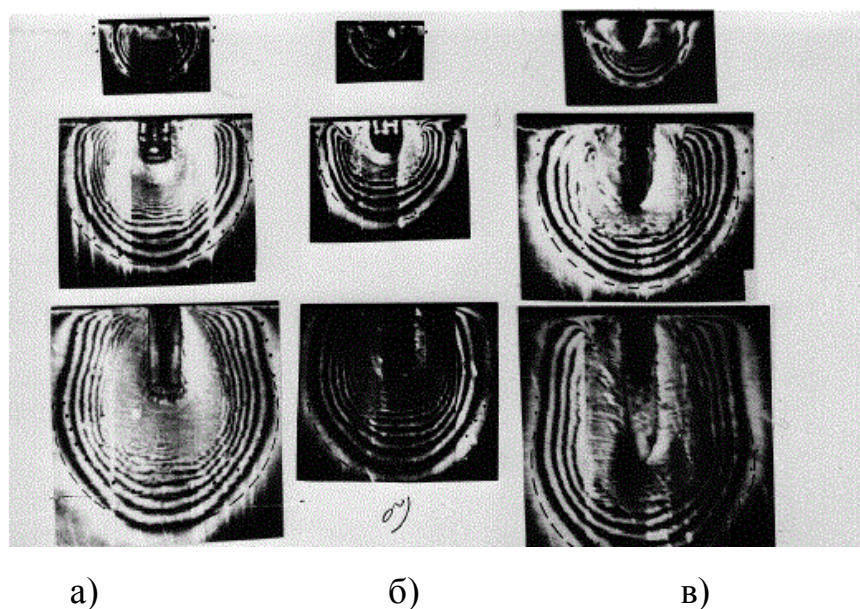


Рисунок 4.1 – Изохромы, полученные с помощью ОЧП при внедрении пуансонов с плоским (а), сферическим (б), оживальным (в) торцами

Исследования показали, чем больше радиус оживального торца пуансона r_1 , тем меньше d_1 и h_1 при перемещении пуансона на одну глубину. Однако при дальнейшем внедрении разница в размерах уменьшается. Наступает такая стадия, когда поперечный размер о.п.д. становится соизмеримым с поперечным размером о.п.д. при внедрении пуансона с плоским торцом.

При внедрения пуансона с плоским торцом (рисунок 4.2) в полубесконечное пластическое тело границы о.п.д. под пуансоном близки к сферическим поверхностям. При внедрении цилиндрического пуансона с плоским торцом в заготовку с ограниченными размерами форма внутренней границы о.п.д. практически не изменится, а внешний размер искажается.

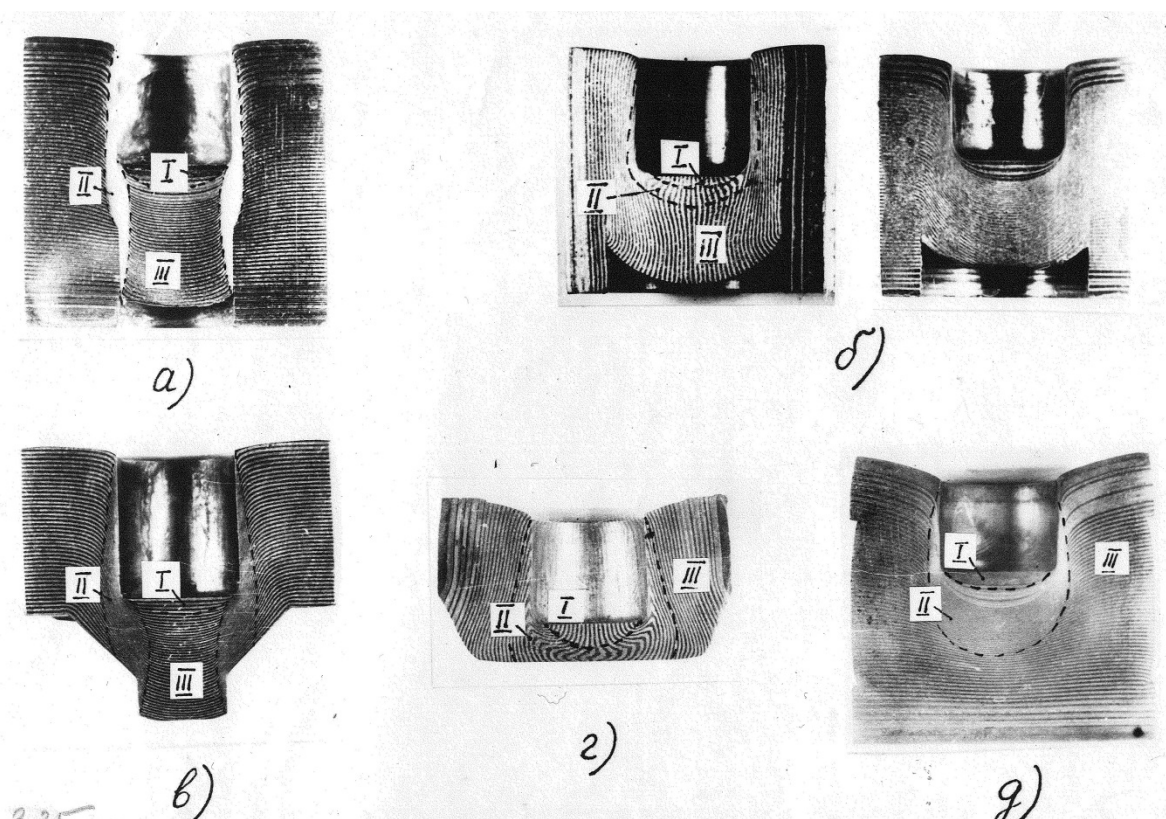


Рисунок 4.2 – Меридиональное сечение заготовок из многослойного материала

При внедрении пуансона с плоским торцом формирование о.п.д. начинается с участков заготовки, примыкающих к радиусной части пуансона. При выдавливании пуансоном со скругленным торцом (рисунок 4.3) – с участков, соприкасающихся с вершиной пуансона. О.п.д. постоянно

распространяется в глубь заготовки, принимая форму полого тела вращения. Внутренняя граница о.п.д. изменяется в соответствии с перемещением пуансона.

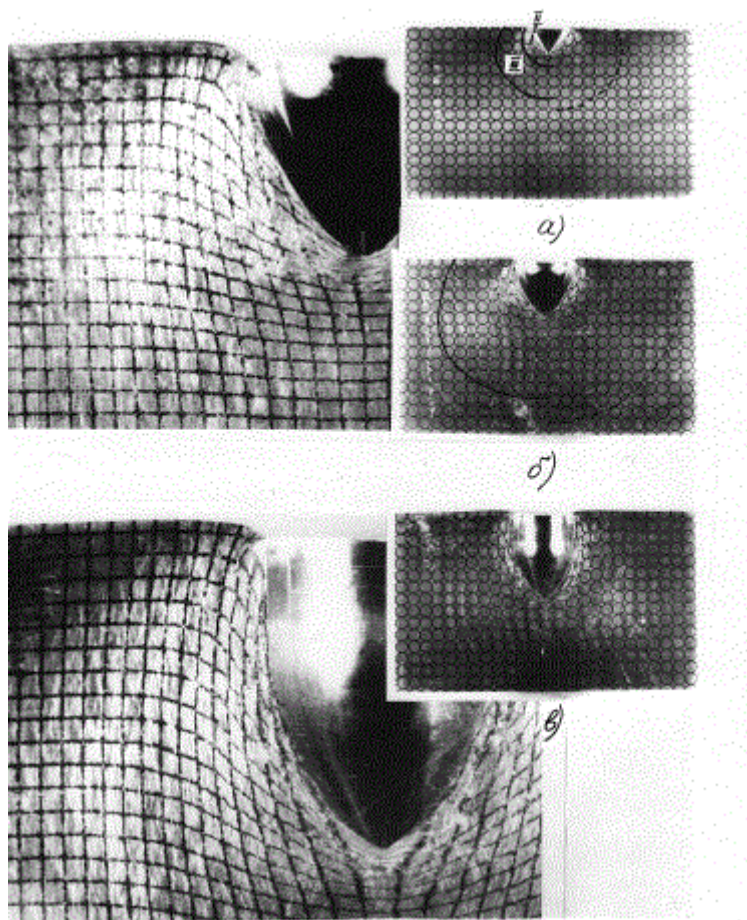


Рисунок 4.3 – Меридиональное сечение заготовок из стали армко с нанесенной делительной сеткой (Сплошной линией показана внешняя граница о.п.д. с $\epsilon_i = 2...3\%$, штриховкой показана расчётная внешняя граница)

При внедрении скругленного пуансона непосредственно под ним образуется зона максимальной пластической деформации (рисунок 4.3 а). На дне полости как при деформировании в холодную, так и с нагревом заготовки заторможенную зону не обнаружили (рисунок 4.3), а также микроструктура заготовки (рисунок 4.4), подвергнутой холодной деформации.

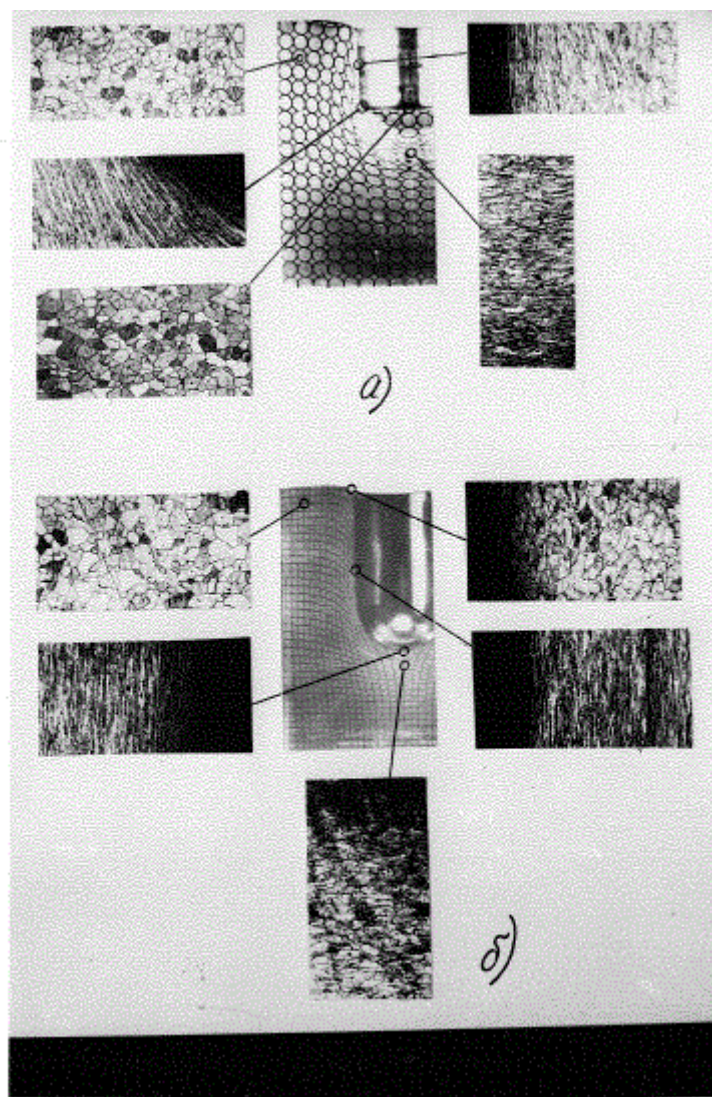


Рисунок 4.4 – Микроструктура ($\times 350$) в характерных зонах о.п.д. при образовании цилиндрической полости с плоским (а) и сферическим (б) дном

При закрытом выдавливании с облегчающимися камерами на характер течения материала заготовки влияет форма и размеры камеры. При деформировании заготовок с цилиндрической нижней камерой характер течения зависит от отношения диаметра камеры d_k к диаметру полости d и толщины перемычки $H - h_k$. При $d_k > d$ материал заготовки вытесняется преимущественно в камеру, в зазор между пуансоном и обоймой материал не течёт. Если $d_k < d$, материал заготовки перемещается как в полость камеры,

так и в зазор между пуансоном и обоймой. Влияние толщины перемычки на изменение высоты камеры представлен на рисунке 4.5 .

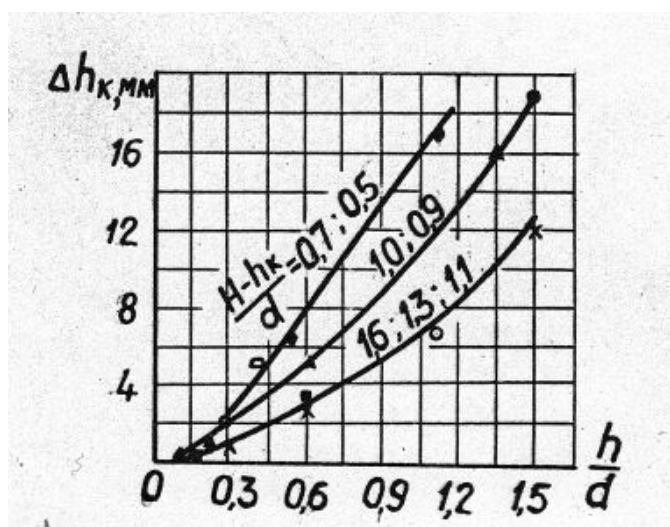


Рисунок 4.5 – Влияние толщины перемычки на изменение высоты камеры

Зона интенсивной пластической деформации при наличии нижней камеры имеет форму цилиндрического или конусообразного кольца и располагается вблизи поверхности, образуемой соединением точек контура дна полости и дна камеры (рисунок 4.6).

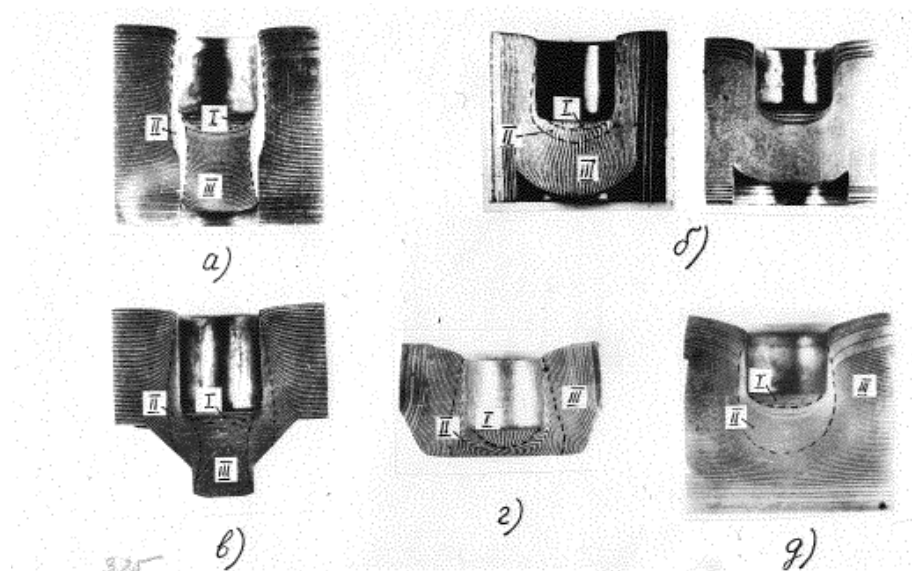


Рисунок 4.6 – Фотоснимки меридионального сечения из многослойного материала при закрытом выдавливании с нижней облегчающей камерой (а - $d_k = d$; б - $d_k = 1,5 d$; в – приемником; г – угловой; д – боковой)

При $d_k = d$ (рисунок 4.6 а) зона интенсивной пластической деформации получает форму кольца и имеет наименьшие поперечные размеры, а при увеличении и уменьшении d_k эта зона приобретает конусообразную форму, а ее размеры увеличиваются (рисунок 4.6 б). Полученные сведения по распределению деформации на многослойном материале согласуются с результатами более ранних исследований. Течение материала при деформации заготовок с использованием приемника (рисунок 4.6 в) имеет тот же характер, что и при деформировании заготовок с нижней облегчающей камерой.

5 Исследования характера распределения параметров напряженно-деформированного состояния заготовки в процессе выдавливания в программе DEFORM – 3D

Предмет исследования – матрица обжима пульных оболочек. Современные пули стрелкового вооружения представляют собой изделие, состоящее из нескольких элементов. Обычно это оболочка пули, сердечник и рубашка. Оболочка пули во многом определяет баллистические и боевые качества пули, поэтому изготавливается с высокой точностью и правильностью формы. Производятся пульные оболочки листовой штамповкой из плоской круглой рондоли, путём комбинированной вытяжки с последующим обжимом. Матрица обжима пульных оболочек представлена на рисунке 5.1.

Полуфабрикат получен радиальным обжатием заготовки со сквозным отверстием, в которое предварительно был помещен пуансон.



Рисунок 5.1 – Матрица обжима пульных оболочек

Изготовление глубоких глухих полостей матрицы обжима пульных оболочек традиционными методами токарной обработки представляет собой трудоемкий процесс. Для изготовления полостей в углеродистых сталях возможно применение радиальном обжатием с предварительным осевым выдавливанием в конической матрице (рисунок 5.2). Процесс радиального обжатия характеризуется циклическим нагружением и сводится к пластическому изменению формы заготовки путем шагового перемещения

элементарных объемов металла вдоль очага деформации. При этом происходит уменьшение размеров поперечного сечения обрабатываемой заготовки в двух ортогональных направлениях и ее удлинение.

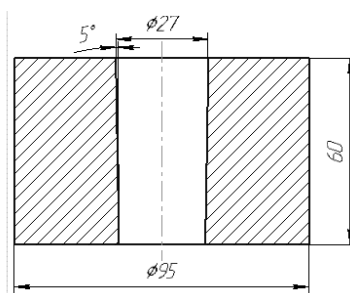


Рисунок 5.2 – Матрица обжима

Заготовка имеет сквозное отверстие, равное максимальному диаметру рабочей части пуансона. Пуансон (рисунок 5.3) небольшой длины предварительно помещается в отверстие заготовки, заготовка вместе с пуансоном заталкивается в коническую матрицу с углом наклона образующей 5 градусов. Сквозное отверстие в заготовке полностью закрывается. Таким же образом возможно изготовление глубоких сквозных полостей.

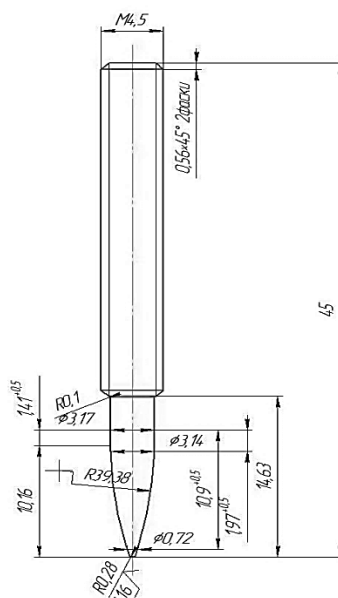


Рисунок 5.3 – Эскиз пуансона

Для уменьшения требуемых усилий при обжатии рекомендовано применение цилиндрической заготовки (рисунок 5.4).

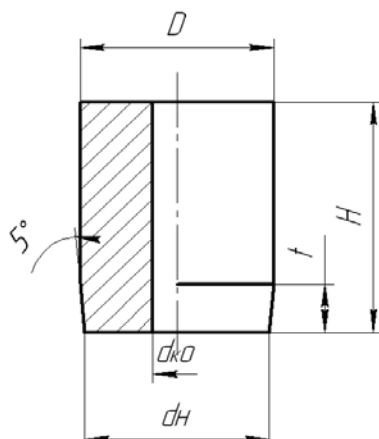


Рисунок 5.4 – Эскиз заготовки

В таблице 5.1 приведены размеры исходной заготовки.

Таблица 5.1 – Размеры исходной заготовки

| № заготовки | D, мм | H, мм | t, мм | d _н , мм | d _{к0} , мм |
|-------------|-------|-------|-------|---------------------|----------------------|
| 1 | 37 | 19,54 | 0,03 | 36,3 | 4 |

где D – диаметр исходной заготовки; H – высота исходной заготовки; t – высота дна исходной заготовки; d_н – диаметр дна заготовки; d_{к0} – диаметр сквозного отверстия в заготовке.

Химический состав материала У10А представлен в таблице 5.2, механические свойства – в таблице 5.3 [6].

Таблица 5.2 – Химический состав заготовки У10А в %

| C | Si | Mn | Ni | S | P | Cr | Fe | Cu |
|-----------|-----------|-----------|---------|----------|----------|--------|----|--------|
| 0.95-1.04 | 0.15-0.35 | 0.15-0.35 | до 0.12 | до 0.018 | до 0.025 | до 0.1 | 97 | до 0.2 |

Инструментальная углеродистая сталь У10А используется для изготовления инструмента, работающего без разогрева режущей кромки – матрицы холодной штамповки, топоры, гладкие калибры, пилы по дереву, надфили, рашпили, ручные метчики, другие изделия.

Таблица 5.3 – Механические характеристики стали У10А

| Марка | σ_B , МПа | $\sigma_{0,2}$, МПа | ε_{iy} | ε_{ip} | σ_{iy} , МПа | σ_{ip} , МПа | $\delta, \%$ | $\psi, \%$ |
|-------|---------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------|------------|
| У10А | 588 | 271 | 0,183 | 0,929 | 701 | 1100 | 0,605 | 0,294 |

где σ_B – предел прочности; $\sigma_{0,2}$ – предел текучести; ε_{iy} - предельно устойчивая деформация; ε_{ip} - предельная деформация; σ_{iy} – интенсивность напряжения в момент образования шейки; σ_{ip} – интенсивность деформации в момент разрушения; δ – относительное удлинение; ψ – относительное сужение.

На рисунке 5.5 изображена 3D модель матрицы в программе DEFORM – 3D .

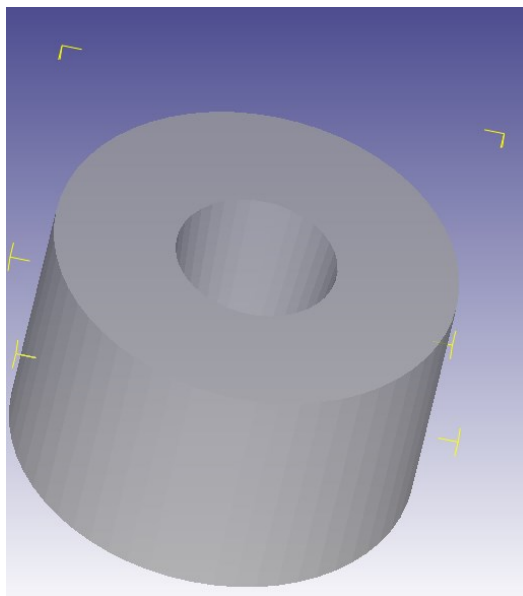


Рисунок 5.5 – Матрица 3D

На рисунке 6 изображена 3D модель пуансона в программе DEFORM – 3D.

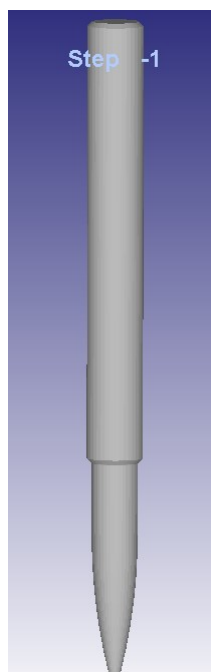


Рисунок 5.6 – Пуансон 3D

На рисунке 7 изображена 3D модель четверти заготовки в программе DEFORM – 3D.

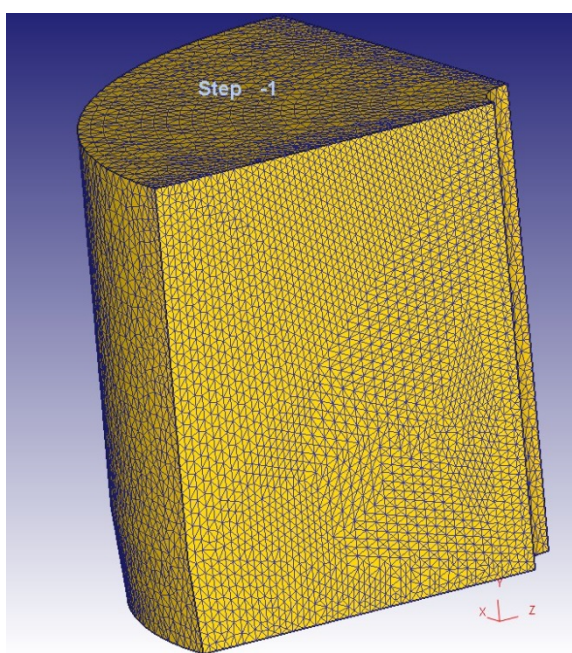


Рисунок 7 – Заготовка 3D

В программе DEFORM – 3D есть собственный сеточный построитель, который производит полностью автоматическое разбиение сетки конечных элементов во время моделирования (адаптивное перестроение сетки) и

присутствует библиотека оборудования для горячей и холодной штамповки. Сетка исследуемой заготовки состоит из 100 000 элементов. Объём заготовки составляет 20680 мм³.

Диаграмма $P - \Delta l$ представлена на рисунке 5.8.

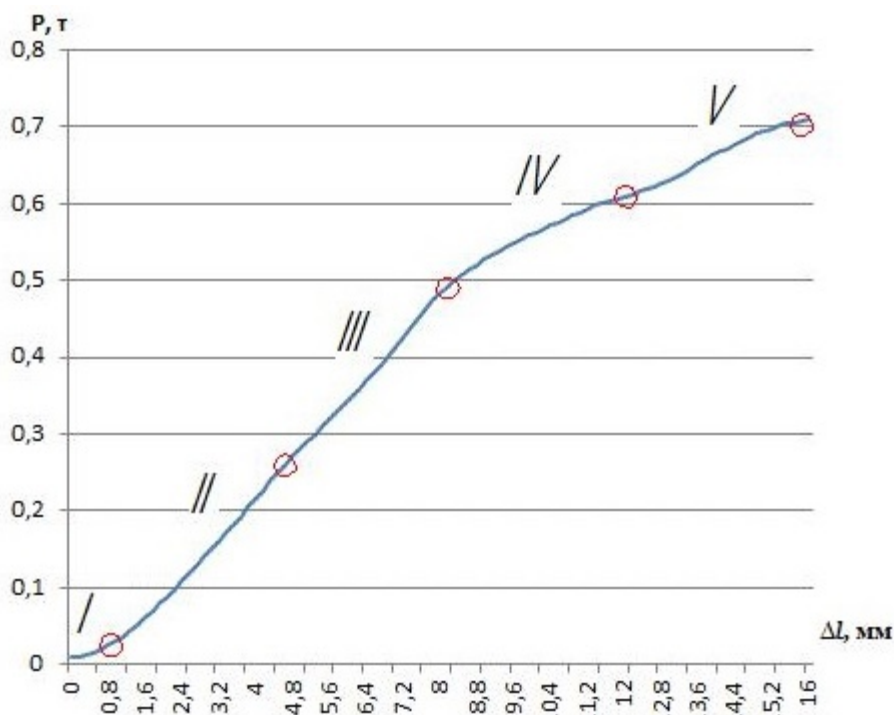


Рисунок 5.8 - Диаграмма $P - \Delta l$

I – формирование элемента конической полости с высотой H_i ;

II – формирование очага пластической деформации при внедрении цилиндрической части заготовки с диаметром $2r_i$;

III - формирование очага пластической деформации при внедрении цилиндрической части заготовки с диаметром $2r_{i+1}$;

IV, V – нелокализованный очаг пластической деформации [6].

Рассмотрены 2 расчётных сечения заготовки в центральной внутренней продольной части заготовки и в крайней внутренней поперечной части заготовки (рисунок 5.9).

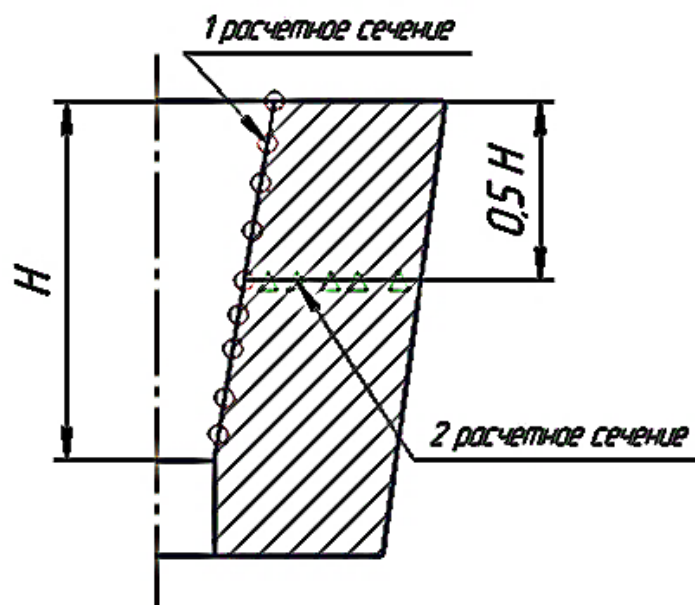


Рисунок 5. 9 – Схема расчётных сечений исследуемой заготовки

График распределения компонентов деформации и интенсивности деформации продольного сечения внутренней части заготовки представлен на рисунке 5.10.

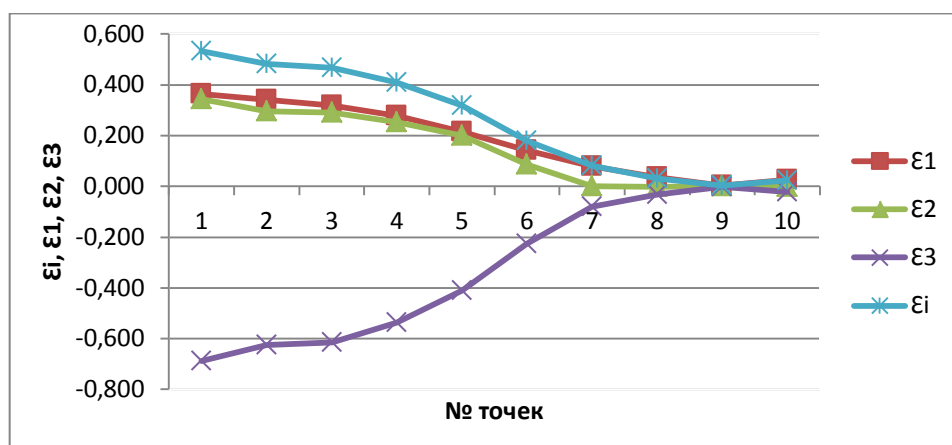


Рисунок 5.10 – Зависимость распределения ϵ_i , ϵ_1 , ϵ_2 , ϵ_3 в продольном сечении

График распределения главных напряжений и интенсивности напряжений продольного сечения внутренней части заготовки представлен на рисунке 5.11.

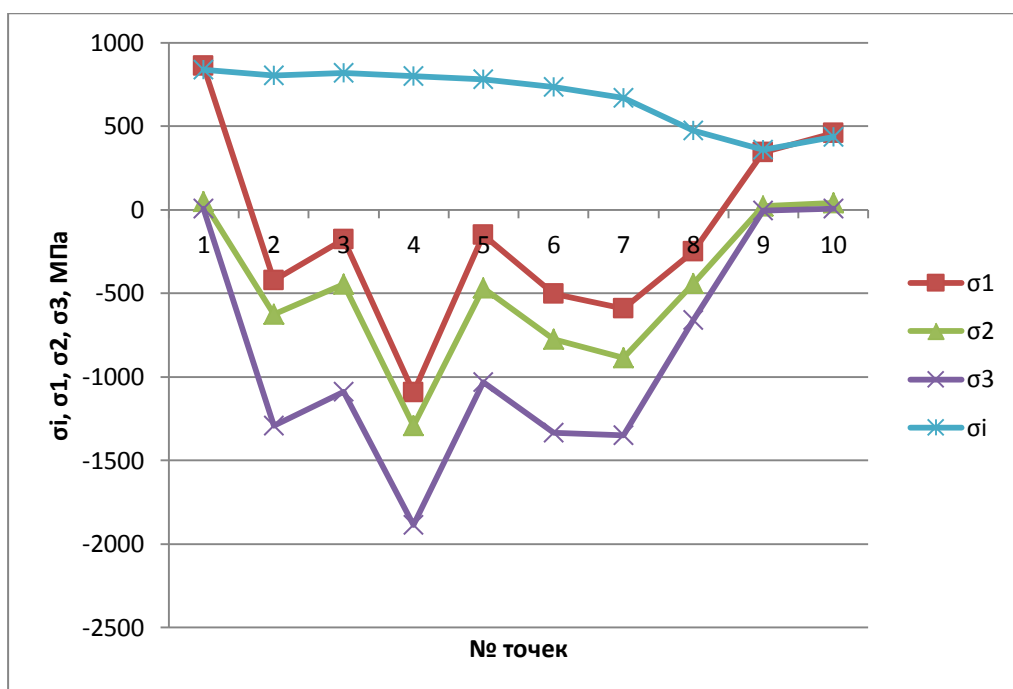


Рисунок 5.11 – Зависимость распределения σ_i , σ_1 , σ_2 , σ_3 в продольном сечении

Графики распределения параметров характеристик вида деформированного и напряженного состояния v_ε , v_σ представлены на рисунках 5.12.

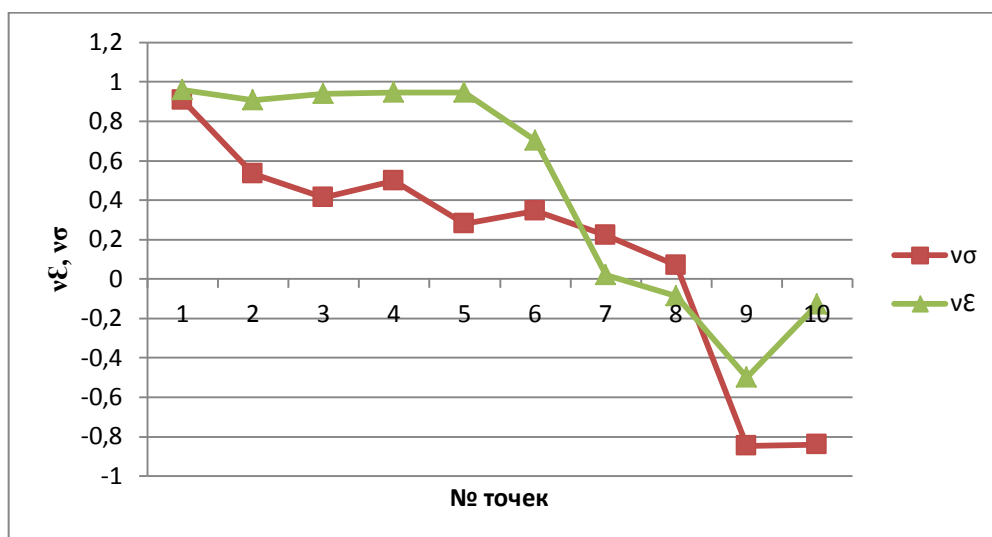


Рисунок 12 – Зависимость распределения v_ε , v_σ в продольном сечении

Проанализировано второе расчётное поперечное сечение заготовки.

График распределения компонентов деформации и интенсивности деформации поперечного сечения внутренней части заготовки представлен на рисунке 5.13.

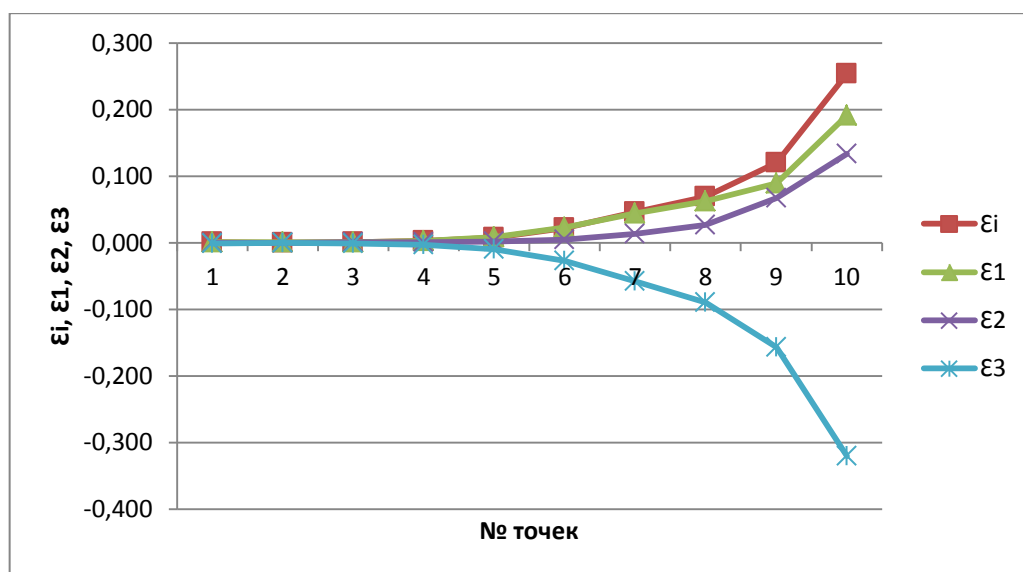


Рисунок 5.13 – Зависимость распределения $\epsilon_i, \epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ в продольном сечении

График распределения главных напряжений и интенсивности напряжений поперечного сечения внутренней части заготовки представлен на рисунке 5.14.

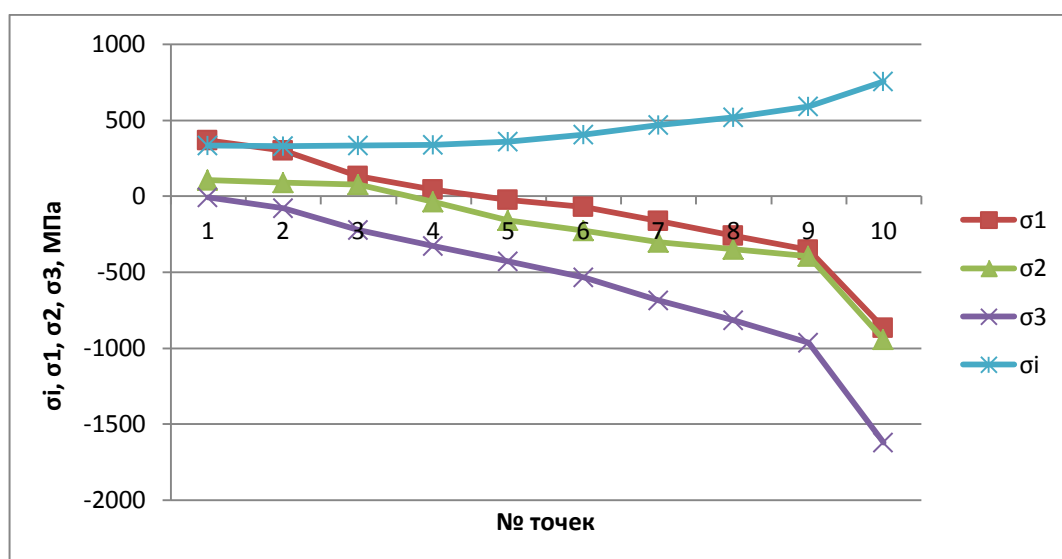


Рисунок 5.14 – Зависимость распределения $\sigma_i, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ в поперечном сечении

Графики распределения параметров ν_ϵ, ν_σ , представлены на рисунке 5.15.

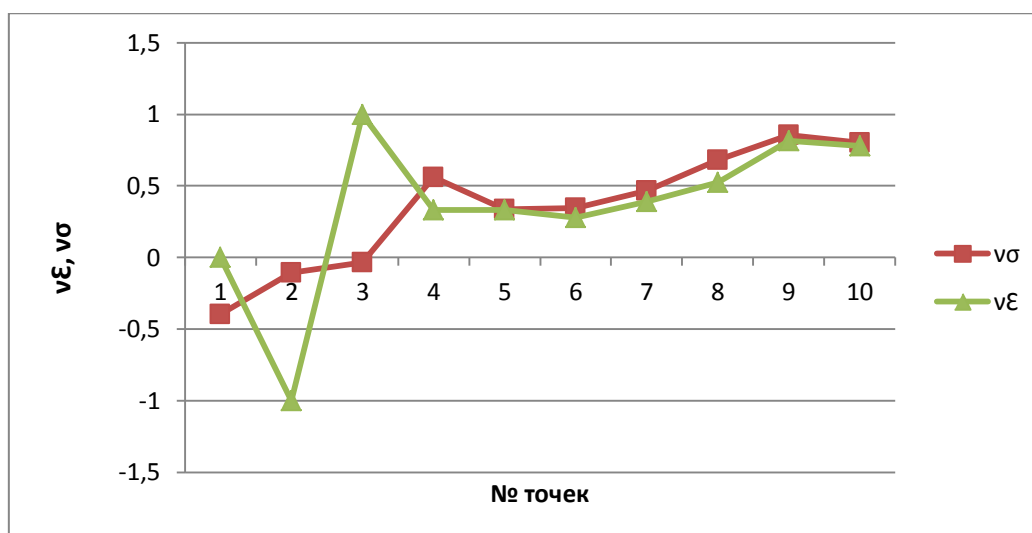


Рисунок 5.15 – Зависимость распределения $\nu\epsilon$, $\nu\sigma$ в поперечном сечении

В поперечном и в продольном сечениях исследованы зависимости распределения ϵ_1 , ϵ_2 , ϵ_3 и ϵ_i . В продольном и в поперечном сечении присутствует неравномерность степени деформации ϵ_i . Компоненты деформации ϵ_1 , ϵ_2 и ϵ_i в продольном сечении имеют положительные значения. Компонент деформации ϵ_3 в начале деформации имеет отрицательные значения, а затем положительные. Компоненты деформации ϵ_1 , ϵ_2 и ϵ_i в поперечном сечении имеют положительные значения, а ϵ_3 отрицательные значения. Следовательно, параметры деформированного состояния распределены неравномерно в двух сечениях. В продольном и в поперечном сечениях проанализирована зависимость $\nu\epsilon$ от номера точки исследуемого сечения. Вид деформированного состояния в продольном сечении – сдвиг с сжатием и растяжением. Вид деформированного состояния в поперечном сечении – сдвиг с сжатием.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В реферате проведено ознакомление с процессом выдавливания полостей. Изучены и рассмотрены полученные результаты методов делительной сетки и метода моделирования многослойного материала в процессе выдавливания. Смоделирован процесс выдавливания в программе DEFORM – 3D.

В настоящее время использование метода делительных сеток ограничено, поскольку для численного исследования деформаций необходимо получение точных значений координат узлов и размеров ячеек сетки, что при классическом подходе является довольно трудоемкой задачей. Таким образом, мы получаем возможность отказаться от измерений численных значений размеров сетки непосредственно на образце и перейти к анализу исследуемой области заготовки в программе DEFORM – 3D, что с практической точки зрения значительно проще. Кроме указанных выше преимуществ данного метода исследования делительных сеток, следует так же отметить, что использование такой специализированной программы позволяет полностью отказаться от ручных расчетов, так как в процессе анализа все расчеты – начиная от вычисления расстояния между узлами сетки и заканчивая расчетом численных значений деформации каждой ячейки высчитывает программа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Смирнов – Аляев, Г.А. Сопротивление материалов пластическому деформированию. / Инженерные методы расчета операций пластической обработки материалов/. Изд.2-е. М.-Л.: Машгиз, 1961.- 463с.
2. Зибель, Э. Обработка металлов в пластическом состоянии. (Пер. с немецкого), Свердловск: Metallurgizdat, 1934.- 198с.
3. Пашков, П.О. Пластичность и разрушение металлов. Л.: Судпромгиз, 1950.-259с.
4. Нестеров, Н.И. Технология холодной объёмной штамповки: учебное пособие/ Н.И. Нестеров, В.Г. Трошин, О.Л. Киреев; под ред. Г.А. Данилина; Балт. гос. техн. ун-т. СПб.: 2016. – 167 с.
5. Иванов, К.М. Механика процессов обработки давлением: учебное пособие/ К.М. Иванов, Н.И. Нестеров, Д.В. Усманов; Балт.гос.техн.ун-т. СПб.: 2012. – 299 с.
6. Лясников, А.В. Образование полостей пресс-форм и штампов выдавливанием: Внешторгиздат, 1993 – 312 с.